动 物 学 研 究 2013，Jun. 34(3): 174−181 CN 53-1040/Q ISSN 0254-5853
Zoological Research DOI:10.11813/j.issn.0254-5853.2013.3.0174

冬季森林鸟类对林窗的响应分析

赵东东, 吴映环, 陆 舟, 蒋光伟, 周 放*

广西大学 动物科学技术学院, 广西 南宁 530005

摘要：林窗主要指由森林中老龄树死亡或其他偶然因素导致的成熟阶段优势树种死亡，从而造成在林冠层形成空隙的现象。2011 年 11 月—2012 年 2 月，于广西防城金花茶国家级自然保护区，采用定点观察法，就北热带季雨林冬季鸟类对林窗的响应特征及鸟类在林窗和非林窗的分布特征等进行了研究。在林窗记录到鸟类 45 种，占所有鸟类的 84.9%，平均种数为 9.6 种；在非林窗记录到鸟类 39 种，占所有鸟类的 73.6%，平均种数为 5.3 种。多元回归表明林窗面积、林窗外 10 m 乔木平均高度、林窗外 10 m 乔木数量、林窗外 10 m 灌木数量、林窗外 1 m 草本平均盖度和裸地比例是林窗影响鸟类多样性的关键因子。总体上，林窗鸟类多样性大于非林窗。另外，林窗对鸟类空间分布影响主要表现在：鸟类的垂直分布以林窗中层和林冠层为主，水平分布以近离和较近离为主，而这种空间分布格局主要是由鸟类取食生态位分化所造成。

关键词：林窗；鸟类多样性；空间分布；食性分布；森林
中图分类号：Q958.12+2.5 **文献标志码：**A **文章编号：**0254-5853-(2013)03-0174-08

Response of forest bird communities to forest gap in winter in southwestern China

Dong-Dong ZHAO, Ying-Huan WU, Zhou LU, Guang-Wei JIANG, Fang ZHOU*

College of Animal Science and Technology, Guangxi University, Nanning 530005, China

Abstract: Although forest gap ecology is an important field of study, research remains limited. By plot setting and point counted observation, the response of birds to forest gaps in winter as well as bird distribution patterns in forest gaps and intact canopies were studied in a north tropical monsoon forest of southwestern China from November 2011 to February 2012 in the Fangcheng Golden Camellia National Nature Reserve, Guangxi. The regression equation of bird species diversity to habitat factor was Y_1=0.611+0.002 X_{13}+0.043 X_2+0.002 X_5−0.003 X_8+0.006 X_{10}+0.008 X_1 and the regression equation of bird species dominance index to habitat factor was Y_3=0.533+0.001 X_{13}+0.019 X_2+0.002 X_3−0.017 X_4+0.002 X_1. There were 45 bird species (2 orders and 13 families) recorded in the forest gap, accounting for 84.9% of all birds (*n*=45), with an average of 9.6 species (range: 2−22). Thirty-nine bird species (5 orders and 14 families) were recorded in non-gap areas, accounting for 73.6% of all birds (*n*=39), with an average of 5.3 species (range: 1−12). These results suggested that gap size, arbor average height (10 m from gap margin), arbor quantity (10 m from gap margin), shrub quantity (10 m from gap margin), herbal average coverage (1 m from gap margin) and bare land ratio were the key forest gap factors that influenced bird diversities. On the whole, bird diversity in the forest gap was greater than in the intact canopy. Spatial distributions in the forest gaps were also observed in the bird community. Most birds foraged in the “middle” and “canopy” layers in the vertical stratification. In addition, “nearly from” and “close from” contained more birds in relation to horizontal stratification. Feeding niche differentiation was suggested as the main reason for these distribution patterns.

Keywords: Forest gap; Bird diversity; Spatial distribution; Trophic distribution; Forest

自英国生态学家 Watt (1947)首次提出林窗(forest gap)概念以来，林窗在森林动态及更新中的生态作用逐步受到人们的重视 (Yang et al, 2000)。之后，一些学者补充和完善了林窗的概念 (Connell, 1989; Runkle, 1982, 1989; Spies & Franklin, 1989)。美国森林生态学家Runkle (1981)对林窗的概念进行

收稿日期：2012-12-24；接受日期：2013-02-20
基金项目：广西自然科学基金北部湾重大专项 (2010GXNSFE013004, 2011GXNSFE018001)
*通信作者(Corresponding author)，E-mail: zhoufang@gxu.edu.cn
第一作者简介：赵东东，男，硕士研究生；研究方向：动物生态学；E-mail: zhaodongdong213@163.com

了扩充，将其定义为冠林窗 (canopy gap，指直接处于林冠空窗下的土地面积)和扩展林窗 (expanded gap，指由冠空窗周围的树木所围成的土地面积，包括实际林窗和其边缘到周围树木干基部所围的面积两部分)。

几十年来，林窗动态和林窗对生物多样性的影响逐渐成为热带生态学研究的重点 (Patrick et al, 2012)，20 世纪 80 年代，林窗成为生态领域和林学领域研究的热点 (Xian et al, 2007)。不少研究表明林窗边缘会产生边缘效应，林窗对森林物种多样性以及群落结构、动态和多样性的维持和更新意义重大 (Hong et al, 2000；Zang et al, 1998)。国外有不少关于鸟类对林窗的反应和鸟类在林窗与非林窗分布特征的研究 (Champlin et al, 2009; Noss, 1991; Schemske & Brokaw, 1981; Willson et al, 1982; Wunderle et al, 1987)，而国内尚未有相关报道。

广西防城金花茶国家级自然保护区地处中越边境东端，生物多样性极其丰富，研究森林林窗和鸟类多样性之间的关系对于维持当地物种多样性有着积极的意义。以往的研究多集中于鸟类在林窗与非林窗呈现的分布格局，而对林窗鸟类的食性涉及较少。自 1997 年以来，我们就已在金花茶保护区开展森林鸟类生态学的调查，并于 2011 年 11 月—2012 年 2 月，就北热带季雨林冬季鸟类对林窗的响应特征和鸟类在林窗和非林窗的分布特征等进行了研究，旨在从食性方面来描述鸟类在林窗和非林窗呈现的分布格局，以期为今后林窗理论发展和生物多样性保护提供参考依据。

1 材料和方法

1.1 研究地点

广西防城金花茶国家级自然保护区位于广西壮族自治区防城港市防城区境内，位于中越边境东端 (E108°02′33″~108°12′52″，N21°43′34″~21°49′39″)，地处十万大山的兰山支脉，面积 9 156 km^2。属热带季风气候，海洋风盛行，年日照时数为 1 525 h，年平均气温 21.9 ℃，年均降雨量>2 900 mm。保护区内以低山山地为主，地势起伏明显，沟壑纵横交错，森林覆盖率达到 88.6%。

保护区主要保护对象为珍稀濒危金花茶组植物及其北热带森林生态系统，地带性植被为热带季雨林。区内分布有金花茶的 3 个种和 1 个变种，共 35 万多株，是金花茶的分布中心，群落生态系统保存完整，为世界罕见。分布有桫椤(*Alsophila spinulosa*)等 14 种国家重点保护植物，另有白鹇 (*Lophura nycthemera*)、原鸡 (*Gallus gallus*)和仙八色鸫 (*Pitta nympha*)等 22 种国家重点保护野生动物。

1.2 研究方法

1.2.1 林窗的选择

在广西防城金花茶国家级自然保护区热带季雨林，寻找距离森林边缘≥50 m (减弱边缘效应)的所有林窗。Lawton & Putz（1988）、Tyrrell & Crow（1994) 认为林窗的范围应确定为 4~1 000 m^2，<4 m^2 的间隙很难与林中的枝叶间隙区分开来，而 > 1000 m^2 的范围则一般被当作林中空地来处理，因此，我们调查时排除<4 m^2 和>1 000 m^2 的样本，对每个适用林窗分别编号 (1、2、3…，*n*=41)，并记录其海拔、经纬度 (采用 Garmin-eTrex-GPS 接收机)、行进轨迹 (采用 HOLUX 轨迹仪)、坡向和坡度 (采用罗盘记录)等。

在距每个林窗 30 m 的树林选取一个与该林窗面积、坡向、坡度及海拔相同的对照样方。对照组(*n*=41)之间间隔≥30 m，另外每个对照组距离林缘也≥50 m，以减轻边缘效应的影响。

1.2.2 生境变量

鸟类对不同特点的生境外貌轮廓会作出不同的反应，其组成主要由植被结构所决定 (Hinsley, 2000)，这就导致鸟类在森林中会呈现一定的分布格局。之前一些研究 (Schemske & Brokaw, 1981; Wunderle et al, 2005, 2006) 采用林窗不同高度枝叶的覆盖率作为衡量指标，而这里，我们选取了更多的生境变量来衡量鸟类对林窗和非林窗生境特征差异的反应变化。

2011 年 11 月—2012 年 2 月，记录各林窗的裸地比例 (X_1)，林窗外 10 m 乔木的平均高度 (X_2)、平均盖度(X_3)、平均胸径(X_4)、数量(X_5)，林窗外 10 m 灌木的平均高度 (X_6)、平均盖度(X_7)、数量(X_8)以及林窗外 1 m 草本的平均高度 (X_9)、平均盖度(X_{10})、数量(X_{11})等共 11 个生境因子。并测量各林窗的长轴和短轴，长轴/短轴为 X_{12}，林窗面积为 X_{13}。同时记录非林窗 (non-gap)的相应数据。

为了探究鸟类在林窗内的垂直分层，我们将林窗平均分为地表层、林窗下层 (树木盘根和灌木丛)、林窗中层 (灌木丛顶部到树冠下部)和林冠层 4 个层面 (Wunderle et al, 2005, 2006)。

1.2.3 鸟类

一些鸟类对林窗反应的相关研究 (Champlin et al, 2009; Levey, 1988; Wunderle et al, 2005, 2006; Schemske & Brokaw, 1981) 运用雾网捕获来获取数据，但鉴于雾网不具备取样的随意性(Karr, 1981), 其结果只能说明不同时间段的捕获率，而不能说明鸟类在空间上对林窗的反映情况，且由于其高度(2~4 m)限制，很难捕获上层鸟类，伸展区域小。因此，本研究采用定点观察法，在每个林窗中心和对照样方中心各停留 20 min，用 8×42 双筒望远镜(SICONG) 观察 (包括根据听到的鸣声所作出的判断)并记录林窗和距林窗边缘 25 m 范围内鸟类的种类和数量。其中，若鸟类个体距观察者>25 m 或个体从林窗上空飞过及在高空翱翔则不予记录。

另参考 Wardell-Johnson & Williams (2000)对样点法的运用，当某种鸟类首次在该林窗观察到，我们记录该鸟与林窗中轴的相对距离 (即林窗内、近离林窗 (林窗外 0~9 m)、较近离林窗 (林窗外 9~18 m)和远离林窗 (林窗外 18~25 m))及其活动高度(地表层、林窗下层、林窗中层和林冠层)。每个林窗观察多次 (n=15)，取多次观察数据的平均值作为该林窗的鸟类数据。

根据鸟类的主要食性，依据我们对广西南部地区 (包括金花茶保护区)鸟类的长期研究，参考广西大学动物标本馆和广西科学院动物标本馆对有关鸟类的冬季食性记录，以及对中国北热带地区鸟类文献的有关研究 (Yang et al, 1995; Yang et al, 2004; Zhou, 1987; Zhou, 1988)。将鸟类划分为食虫、食果和食花蜜集团。

调查选在晴朗、风力较小（<三级）的6:30—10:00 和 16:00—18:30 进行。为保证同步性，调查人员分为两组，同时分别记录林窗及非林窗数据，并在之后的同组调查中对换调查人员，以减小个人差异带来的误差。

1.2.4 数据处理

由于目前林窗的概念仍以冠林窗概念应用居多 (Liu et al，2003)，并且冠林窗更能准确反映其对林隙内微生境及更新的影响 (Song et al, 2008), 故测量各林窗面积时以冠林窗面积表示林窗面积。其中：

(1) 由于所调查林窗多呈椭圆形，因此采用椭圆面积计算公式计算林窗面积 (Zang et al, 2004)。

$$A=\pi LW/4$$

其中：A 为林窗面积 (m^2)，L 为林窗长轴 (m)，W 为林窗短轴 (m)。

(2) 采用 Shannon-Wiener 多样性指数来测度每个林窗的鸟类多样性：

$$H'=-\sum_{i=1}^{s}P_i\ln P_i$$

其中：H' 为物种多样性指数，S 为总的物种数，P_i 为第 i 物种个体数与所有物种个体数总数的比值。

(3) Pielou 指数测度均匀度：

$$J=H'/H'_{max}$$

其中：H'_{max} 即 ln$S$。

(4) 优势度指数 C 采用公式：

$$C=1-\sum_{i=1}^{s}P_i^2$$

(5) 采用 Jaccard 相似性系数 $S=c/(a+b-c)$衡量对照组之间的相似性。其中，a 为生境 A 中的鸟类种数；b 为生境 B 中的鸟类种数；c 为 2 种生境中共有的鸟类种数。根据相似性系数原理， C_j=0.00~0.25，为极不相似； C_j=0.25~0.50，为中等不相似；C_j=0.50~0.75，为中等相似； C_j=0.75~1.00，为极相似 (Zhang et al, 2008; Zou et al, 2009)。

设定鸟类 Shannon-Wiener 多样性指数为 Y_1，Pielou 均匀度指数为 Y_2，优势度指数 C 为 Y_3。对于林窗生境参数，采用多独立样本的 Jonckheere-Terpstra test 来检验这 13 种数值型生态因子的差异性。

根据多元线性回归可从若干自变量组合中预测因变量，并可确定对因变量有重要影响的主要因子 (Wang et al, 2003)。对这 13 个数值型生态因子进行多元线性回归分析，采用向后筛选策略模型，以确定影响林窗鸟类多样性的关键因子。以上数据处理均采用 SPSS17.0 统计软件分析包。

2 结 果

2.1 生境变量

对于林窗生境参数，多独立样本的 Jonckheere-Terpstra test 检验表明，林窗外 10 m 灌木数量 (p=0.000<0.01)、林窗外 10 m 乔木平均高度(p=0.002<0.01)及林窗外 10 m 乔木平均盖度差异极显著(p=0.008<0.01)，林窗面积 (p=0.088<0.05)及林窗外 1 m 草本数量差异显著 (p=0.043<0.05)，长轴/短轴、裸地比例、林窗外 10 m 乔木平均胸径、林窗外 10 m 乔木数量、林窗外 10 m 灌木平均高度、林窗外 10 m

灌木平均盖度、林窗外 1 m 草本平均高度及林窗外 1 m 草本平均盖度等差异不显著（$p>0.05$）。

设定多样性指数 Y_1，均匀度指数 Y_2，优势度指数 Y_3 为因变量，对这 13 个生态因子行多元线性回归分析（表 1，表 2，表 3），采用向后筛选策略模型。

向后筛选策略模型结果表明，林窗面积（X_{13}）、林窗外 10 m 乔木平均高度（X_2）、林窗外 10 m 乔木数量（X_5）、林窗外 10 m 灌木数量（X_8）、林窗外 1 m 草本平均盖度（X_{10}）及裸地比例（X_1）等为影响鸟类多样性的关键因子，回归方程为：$Y_1=0.611+0.002X_{13}+0.043X_2+0.002X_5-0.003X_8+0.006X_{10}+0.008X_1$；均匀度指数和生境变量之间不存在线性关系；林窗面积（X_{13}）、林窗外 10 m 乔木平均高度(X_2)、林窗外 10 m 乔木平均盖度（X_3）、林窗外 10 m 乔木平均胸径（X_4)及裸地比例（X_1)等为影响鸟类优势度的关键因子，回归方程为：

$$Y_3=0.533+0.001X_{13}+0.019X_2+0.002X_3-0.017X_4+0.002X_1$$。

表 1　Shannon-Wiener 多样性指数 Y_1 回归分析结果

Table 1　Multi-linear regression of Shannon-Wiener index

模式 Model	非标准化回归系数 Unstandardized coefficients		标准化回归系数 Standardized coefficients	T 统计量	显著性水平 Sig.	共线性统计 Collinearity Statistics	
	回归系数 B	标准误 Std.Error	回归系数 Beta			容忍度 Tolerance	膨胀因子 VIF
常数 Constant	0.611	0.266	—	2.301	0.028	—	—
林窗面积（X_{13})	0.002	0.000	0.577	5.465	0.000	0.967	1.035
林窗外 10 m 乔木平均高度（X_2)	0.043	0.021	0.242	2.011	0.052	0.744	1.344
林窗外 10 m 乔木数量（X_5)	0.002	0.001	0.224	1.823	0.077	0.714	1.400
林窗外 10 m 灌木数量（X_8)	−0.003	0.001	-0.268	-2.206	0.034	0.729	1.371
林窗外 1 m 草本平均盖度（X_{10})	0.006	0.002	0.373	3.114	0.004	0.750	1.333
裸地比例（X_1)	0.008	0.003	0.310	2.564	0.015	0.739	1.354

表 2　Pielou 均匀度指数回归分析结果

Table 2　Multi-linear regression of Pielou index

模式 Model	非标准化回归系数 Unstandardized coefficients		标准化回归系数 Standardized coefficients	T 统计量	显著性水平 Sig.	共线性统计 Collinearity Statistics	
	回归系数 B	标准误 *SE*	回归系数 Beta			容忍度 Tolerance	膨胀因子 VIF
常数 Constant	0.872	0.037	—	23.543	0.000	—	—

表 3　优势度指数 C 回归分析结果

Table 3　Multi-linear regression of C index

模式 Model	非标准化回归系数 Unstandardized coefficients		标准化回归系数 Standardized coefficients	T 统计量	显著性水平 Sig.	共线性统计 Collinearity Statistics	
	回归系数 B	标准误 *SE*	Beta			容忍度 Tolerance	膨胀因子 VIF
Constant	0.533	0.061	—	8.787	0.000	—	—
林窗面积（X_{13})	0.001	0.000	0.603	5.427	0.000	0.932	1.073
林窗外 10m 乔木平均高度（X_2)	0.019	0.008	0.485	2.412	0.022	0.284	3.521
林窗外 10 m 乔木平均盖度（X_3)	0.002	0.001	0.326	2.590	0.014	0.727	1.376
林窗外 10 m 乔木平均胸径（X_4)	−0.017	0.008	−0.442	−2.064	0.047	0.251	3.989
林窗外 10 m 灌木数量（X_8)	0.000	0.000	−0.236	−1.787	0.083	0.658	1.520
林窗外 1 m 草本数量（X_{11})	0.000	0.000	0.326	2.684	0.011	0.781	1.281
裸地比例（X_1)	0.002	0.001	0.256	2.206	0.035	0.856	1.168

2.2　鸟类群落组成差异

对于 41 个对照组，我们共观察 615 次（n=4×15 次)，林窗和非林窗共记录到鸟类 53 种（5 目 17 科)。其中，在林窗记录到 45 种（2 目 13 科)，占所有鸟类的 84.9% (n=45)，平均种数为 9.6 种(2~22)，在非林窗记录到 39 种（5 目 14 科)，占所有鸟类的

73.6% (n=39)，平均种数为 5.3 种(1~12)。

在林窗(t=0.443, p>0.05, df=39)及非林窗 (t=0.874>0.05, df=39)所记录到的鸟类种数差异不显著，且最常见的均为栗背短脚鹎(*Hypsipetes castanonotus*)和灰眶雀鹛 (*Alcippe morrisonia*) (遇见率分别为 100%、97.56%及 85.37%、87.80%)。

林窗和非林窗的鸟类集群特征各异。对比每一对照组，能够得出每组的相似和不同情况。记录到的鸟类种数仅在第 29 号对照组情况不一致，其林窗为 3 种，非林窗为 4 种；第 2、3、19、23 及 26 号对照组中，林窗和非林窗鸟类种数相同；其余均为林窗多于非林窗。但从多样性指数对比可知，林窗鸟类多样性均大于非林窗，其中多样性指数最大的为第 7 号林窗 (2.7)，共记录到鸟类 21 种，多样性最低的为第 3 号林窗 (0.67)，仅记录到鸟类 2 种，即栗背短脚鹎和极北柳莺 (*Phylloscopus borealis*)；多样性最低的非林窗为 37 号非林窗，仅记录到灰眶雀鹛一种鸟类。

均匀度和优势度指数比较说明，林窗总体大于非林窗，但也有例外，如 39 号非林窗均匀度及 29 号非林窗优势度均大于林窗。相似性对比表明，每个对照组的相似性居于中等水平(～0.45)，其中，8 号和 15 号对照组相似性最高 (0.75)，7 号对照组最低 (0.48)。

2.2.1 食性集团分布格局

用某种食性集团的种数/总种数来衡量鸟类食性分布。林窗记录到食虫集团 77% (35/45)，食果集团 13% (6/45)及食花蜜集团 10% (4/45)。非林窗记录到食虫集团 79% (31/39)，食果集团 20% (7/39)及食花蜜集团 1% (1/39)。林窗的食花蜜集团比例远远大于非林窗 (10/1)，而食虫集团 (77/79)和食果集团 (13/20)则相反 (图 1)。

2.2.2 活动空间分布格局

垂直分布上，食虫集团鸟类在林窗和非林窗均主要分布于中、下层，但是在中层和林冠层分布的食虫集团要多于非林窗的相应层面，下层和地表层则相反。食果集团在林窗林冠层远远大于非林窗的相应层面，在中层两者种数相同，但是在下层和地表层，食果集团仅出现在非林窗。食花蜜集团分布趋势则很明显，林窗总体大于非林窗，在林窗中层和林冠层尤为明显。

水平分布上，食虫集团主要分布于较近离和远离的区域，非林窗仅在“林窗内”大于林窗；食果集团的分布在林窗是以近离和远离为主，而在非林窗以远离为主；食花蜜集团在林窗以近离和较近离为主，在非林窗，其分布基本一致，无太大偏差。

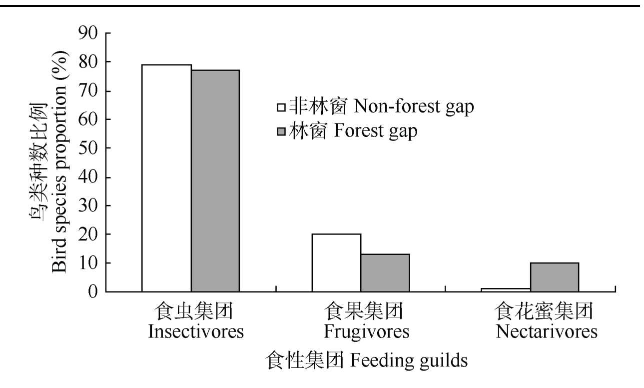


图 1 林窗与非林窗鸟类食性集团的分布格局

Figure 1 Distribution pattern of bird feeding guilds in forest gap and non-forest gap

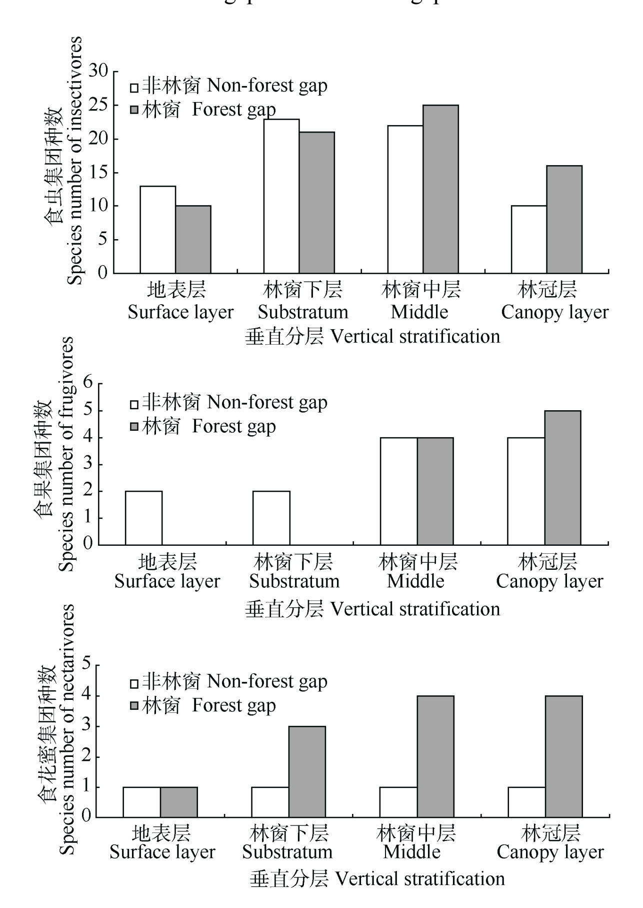


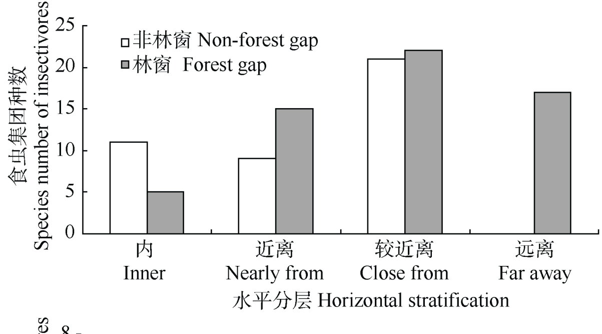
图 2 三种食性集团在林窗与非林窗的垂直分层

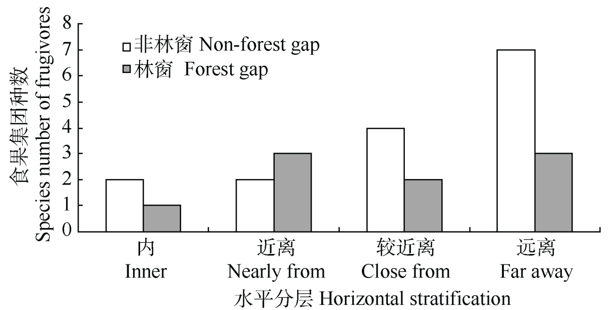
Figure 2 Vertical stratification of three feeding guilds in forest gap and non-forest gap

3 讨 论

3.1 林窗影响鸟类多样性的因子

一些研究 (Blake & Hoppes, 1986; Levey, 1988;





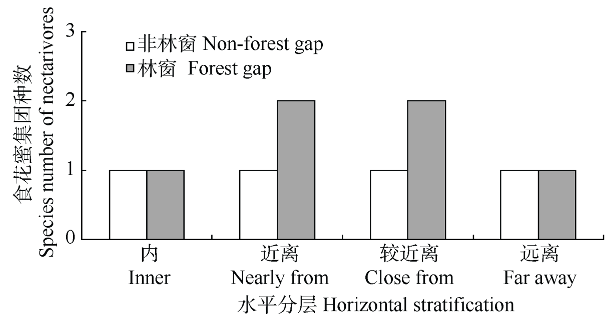


图 3　三种食性集团在林窗与非林窗的水平分层
Figure 3　Horizontal stratification of three feeding guilds in forest gap and non-forest gap

Noss, 1991; Schemske & Brokaw, 1981) 指出林窗会影响鸟类群落的组成和丰富度，但对涉及其中的影响因子却讨论很少。而我们通过对 13 个生境因子的分析表明，在北热带冬季的季雨林中，林窗面积、林窗外 10 m 乔木平均高度、林窗外 10 m 乔木数量、林窗外 10 m 灌木数量、林窗外 1 m 草本平均盖度和裸地比例等是影响鸟类多样性的关键因子。

林窗外 10 m 乔木平均、数量和林窗外 10 m 灌木数量是对鸟类多样性影响大的因子，是较大的轮廓，即鸟类对不同的高大树木的高度和数量会作出不同的反应。而林窗外 1 m 草本平均盖度和裸地比例能给予森林内下层鸟类很好的保护，大的草本盖度和小的裸地比例能够很好地屏蔽这些鸟类，有利于其躲避危险及搜索食物，如短尾鹪鹛用 (*Napothera brevicaudata*)、灰眶雀鹛和红头穗鹛 (*Stachyris ruficeps*)等。

林窗面积是林窗的重要特征，直接影响着林窗内的小气候状况和微环境特征，对林窗内物种更新的种类数量及分布具重要影响 (Totland et al, 2005)。我们的研究中，面积最小的林窗为 4.12 m^2，仅观察到灰眶雀鹛和栗背短脚鹎。面积最大的林窗为 565.2 m^2，共记录到 17 种鸟类，除棕腹大仙鹟 (*Niltava davidi*)、白腹凤鹛 (*Erpornis zantholeuca*)和方尾鹟 (*Culicicapa ceylonensis*)等常见种类外，也记录到如红翅鵙鹛 (*Pteruthius flaviscapis*)等不常见种类。鸟类多样性整体上随林窗面积增大而增加，可能与增大边缘效应及“岛屿”效应有关。每个林窗相对于森林均为“岛屿”，按照岛屿理论，物种数会随岛屿面积的增大而增加。面积大的林窗会产生更多的光照，而更多的光照会促进一些树种的更新 (Lorimer, 1989; Runkle, 1982)并增加果实的产量，从而增加林窗内昆虫等节肢动物的丰富度和多样性，且更多的食物资源也将导致林窗内鸟类密度和多样性的增加。鸟类往往在大的林窗边缘出现，这可能与视野有关，有利于其觅食和躲避危险。但是，由于实验调查数据通常是不充分的，因此，并不能排除面积效应 (Parker et al, 2004)。

3.2　森林鸟类在林窗和非林窗的分布格局

Wunderle et al (1987)的研究指出，林窗食果集团鸟类多样性大于非林窗。而我们的研究结果则表明，林窗食果集团和食虫集团鸟类多样性小于非林窗，食花蜜集团远大于非林窗。造成这种不同分布格局的原因可能是由气候带差异引起，也可能是由季节差异引起。我们的研究于北热带地区冬季进行，温、湿度即使在冬季仍然较高，而 Wunderle 的研究则于寒温带夏季进行。

在林窗中层和林冠层分布的食虫集团种类多于非林窗的相应层面，林窗下层和地表层则相反，这可能是食虫鸟类生态位分化的结果，林窗中、上层和非林窗下层拥有更多的食物资源。食果集团在林窗林冠层分布远大于非林窗，但是在中、下层和地表层，食果集团仅出现在非林窗，其原因是食果集团在林窗林冠层享有更多的食物资源，且需要在非林窗下层才可以得到补偿。3 种食性集团的鸟类在水平分布上，以近离和较近离为主，表明鸟类在林窗附近取食，而非远离林窗，说明林窗为鸟类提供了一定的食物来源。因为林窗会促进花和果实的增长，林下层专有鸟类的多样性会降低，尤其是食昆虫鸟类 (Johns, 1988; Mason, 1996; Thiollay, 1992)。

我们的研究于冬季开展，物种在林窗与非林窗的觅食会因时间的不同而出现差异 (Wunderle et al, 2006)，而在夏季，该差异是否会有变化，仍需进一步研究。林窗是流动的镶嵌体，随着时间的推移，会被逐渐填满或替代，这就要求对其进行长期的观测。另外，我们的研究于热带季雨林进行，在其他林型是否成立，也需要进一步研究。除此之外，北热带地区的森林鸟类林窗生态学研究甚为匮乏，应加强在该地区的研究。

致谢：参加野外工作的还有杨岗、李肇天、廖晓雯等人，野外工作得到了广西防城金花茶国家级自然保护区全体工作人员的支持和帮助，在此表示感谢。

参考文献：

Blake JG, Hoppes WG. 1986. Influence of resource abundance on use of tree-fall gaps by birds in an isolated woodlot. *The Auk,* **103**(2): 328-340.

Champlin TB, Kilgo JC, Gumpertz, ML, Moorman, CE. 2009. Avian response to microclimate in canopy gaps in a bottomland hardwood forest. *Southeastern Naturalist,* **8**(1): 107-120.

Connell JH. 1989. Some processes affecting the species composition in forest gaps. *Ecology,* **70**(3): 560-562.

Hinsley SA. 2000. The costs of multiple patch use by birds. *Landscape Ecology,* **15**(8): 765-775.

Hong W, Wu CZ, Lin CL, Lai JM. 2000. Gap edge effect of the forest communities in LongXi Mountain, Fujian province. *Scienia Silvae Sinicae,* **36**(2): 33-38. [洪伟, 吴承祯, 林成来, 赖建明. 2000. 福建龙栖山森林群落林窗边缘效应研究. 林业科学, **36**(2): 33-38.]

Johns AD. 1988. Effects of "selective" timber extraction on rain forest structure and composition and some consequences for frugivores and folivores. *Biotropica,* **20**(1): 31-37.

Karr JR. 1981. Surveying birds with mist nets. *Studies in Avian Biology,* **6**: 62-67.

Lawton RO, Putz FE. 1988. Natural disturbance and gap-phase regeneration in a wind-exposed tropical cloud forest. *Ecology,* **69**(3): 764-777.

Levey DJ. 1988. Tropical wet forest treefall gaps and distributions of understory birds and plants. *Ecology,* **69**(4): 1076-1089.

Liu JF, Hong W, Li JQ, Yang WH. 2003. Gap natural disturbance regime in the *Castanopsis kawakamii* forest. *Acta Ecologica Sinica,* **23**(10): 1991-1999. [刘金福, 洪伟, 李俊清, 杨文晖. 2003. 格氏栲林林窗自然干扰规律. 生态学报, **23**(10): 1991-1999.]

Lorimer CG. 1989. Relative effects of small and large disturbances on temperate hardwood forest structure. *Ecology,* **70**(3): 565-567.

Mason D. 1996. Responses of Venezuelan understory birds to selective logging, enrichment strips, and vine cutting. *Biotropica,* **28**(3): 296-309.

Noss RF. 1991. Effects of edge and internal patchiness on avian habitat use in an old-growth Florida hammock. *Natural Areas Journal,* **11**: 34-47.

Patrick M, Fowler D, Dunn RR, Sanders NJ. 2012. Effects of treefall gap disturbances on ant assemblages in a Tropical Montane cloud forest. *Biotropica,* **44**(4): 472-478.

Parker TH, Stansberry BM, Becker CD, Gipson PS. 2004. Edge and area effects on the occurrence of migrant forest songbirds. *Conservation Biology,* **19**(7): 1157-1167.

Runkle JR. 1981. Gap regeneration in some old-growth forests of the eastern United States. *Ecology,* **62**(4): 1041-1051.

Runkle JR. 1982. Patterns of disturbance in some old-growth mesic forest of eastern North America. *Ecology,* **63**(5): 1533-1546.

Runkle JR. 1989. Synchrony of regeneration, gaps, and latitudinal differences in tree species diversity. *Ecology,* **70**(3): 546-547.

Schemske DW, Brokaw N. 1981. Treefalls and the distribution of understory birds in a tropical forest. *Ecology,* **62**(4): 938-945.

Song XZ, Zhang ZT, Xiao WF, Huang ZL, Liu XX. 2008. Study on seedling regeneration of arbor and shrub in logging gaps in *Populus davidiana-Betula platyphylla* secondary forests in Changbai Mountain. *Forest Research,* **21**(3): 289-294. [宋新章, 张智婷, 肖文发, 黄志霖, 刘晓昕. 长白山次生杨桦林采伐林隙乔灌木幼苗更新比较研究. 林业科学研究, **21**(3): 289-294.]

Spies TA, Franklin JF. 1989. Gap characteristics and vegetation response in coniferous forests of the Pacific Northwest. *Ecology,* **70**(3): 543-545.

Tyrrell LE, Crow TR. 1994. Structure characteristics of old-growth hemlock-hardwood forests in relation to age. *Ecology,* **75**(2): 370-386.

Thiollay JM. 1992. Influence of selective logging on bird species diversity in a Guianan rain forest. *Conversation Biology,* **6**(1): 47-63.

Totland Ø, Nyeko P, Bjerknes AL, Herland SJ, Nielsen A. 2005. Does forest gap size affects population size, plant size, reproductive success and pollinator visitation in *Lantana camara*, a tropical invasive shrub? *Forest Ecology and Management,* **215**(1): 329-338.

Wang YP, Chen SH, Ding P. 2003. Breeding birds and their nests in street tree strips in Hangzhou city. *Zoological Research,* **24**(4): 259-264. [王彦平, 陈水华, 丁平. 2003. 杭州城市行道树带的繁殖鸟类及其鸟巢分布. 动物学研究, **24**(4): 259-264.]

Watt AS. 1947. Pattern and process in the plant community. *Journal of Ecology,* **35**(1-2): 1-22.

Wardell-Johnson G., Williams M. 2000. Edges and gaps in mature karri forest, south-western Australia: Logging effects on bird species abundance and diversity. *Forest Ecology and Management,* **131**(1-3): 1-21.

Willson MF, Porter EA, Condit RS. 1982. Avian frugivore activity in relation to forest light gaps. *Caribbean Journal of Science,* **18**: 1-4.

Wunderle JM Jr, Diaz A, Velazquez I, Scharrón R. 1987. Forest openings and the distribution of understory birds in a puerto rican rainforest. *The Wilson Bulletin,* **99**(1): 22-37.

Wunderle JM Jr, Willig MR, Henriques LMP. 2005. Avian distribution in treefall gaps and understorey of terra firme forest in the lowland Amazon. *Ibis,* **147**(1): 109-129.

Wunderle JM Jr, Henriques LMP, Willig MR. 2006. Short-term responses of birds to forest gaps and understory: an assessment of reduced-impact logging in a lowland amazon forest. *Biotropica,* **38**(2): 235-255.

Xian JR, Hu TX, Zhang YB, Wang KY. 2007. Effects of forest canopy gap on *Abies faxoniana* seedling's biomass and its allocation in subalpine coniferous forest of west Sichuan. *Chinese Journal of Applied Ecology,* **18**(4): 721-727. [鲜骏仁, 胡庭兴, 张远彬, 王开运. 2007. 林窗对川西亚高山岷江冷杉幼苗生物量及其分配格局的影响. 应用生态学报, **18**(4): 721-727.]

Yang L, Wen JX, Han XL, Yang XJ. et al. 1995. The Avifauna of Yunnan China. Vol. Ⅰ: Passeriformes. Kunming: Science and Technology Press. [杨岚, 文贤继, 韩联宪，杨晓君. 1995. 云南鸟类志上卷·非雀形目. 昆明: 云南科技出版社.]

Yang L, Yang XJ, et al. 2004. The Avifauna of Yunnan China. Vol. II: Passeriformes. Kunming: Science and Technology Press. [杨岚, 杨晓君等. 2004. 云南鸟类志下卷·雀形目. 昆明: 云南科技出版社.]

Yang XD, She YP, Cao M. 2000. A preliminary comparison of structure of insect community in Xishuangbanna tropical rain forest at different growth stages. *Zoological Research,* **21**(5): 367-373. [杨效东, 佘宇平, 曹敏. 2000. 西双版纳热带雨林不同生长时期昆虫群落结构的初步比较. 动物学研究, **21**(5): 367-373.]

Zang RG, Guo ZL, Gao WT. 1998. Gap regeneration in a broadleaved-Korean pine forest in Changbai Mountain Natural Reserve. *Chinese Journal of Applied Ecology,* **9**(4): 349-353. [臧润国, 郭忠凌, 高文韬. 1998. 长白山自然保护区阔叶红松林林隙更新研究. 应用生态学报, **9**(4): 349-353.]

Zang RG, An SQ, Tao JP. 2004. Maintaining Mechanism of Species Diversity of the Tropical Forest in Hainan Island. Beijing: Beijing Science Press. [臧润国, 安树青, 陶建平. 2004. 海南岛热带林生物多样性维持机制. 北京: 科学出版社.]

Zhang DZ, He DH, Yu YZ, Li YC, Dai JX, Hu YP, Chen X, Li QY. 2008. Community diversity of litter-layer beetles in the Baijitan National Nature Reserve of Ningxia. *Zoological Research,* **29**(5): 569-576. [张大治, 贺达汉, 于有志, 李岳诚, 代金霞, 胡玉鹏, 陈鑫, 李启用. 2008. 宁夏白芨滩国家级自然保护区地表甲虫群落多样性. 动物学研究, **29**(5): 569-576.]

Zhou F. 1987. Guilds structure of forest bird community in Dinghushan. *Acta Ecologica Sinica,* **7**(2): 76-184. [周放. 1987. 鼎湖山森林鸟类群落的集团结构. 生态学报, **7**(2): 176-184.]

Zhou F. 1988. Observation of *Tarsiger cyanurus'* overwintering ecological habits. *Chinese Journal of Zoology,* **23**(1): 22-24. [周放. 1988. 红胁蓝尾鸲越冬生态习性的观察. 动物学杂志, **23**(1): 22-24.]

Zou T, Shen HX, Ma ZX, Ning YZ. 2009. Community characteristics of soil Sarcomastigophora in the Mayan forest region of the National Nature Reserve of Xiaolong Mountains. *Zoological Research,* **30**(5): 571-577. [邹涛, 申海香, 马正学, 宁应之. 2009. 小陇山国家自然保护区麻沿林区土壤肉鞭虫群落特征. 动物学研究, **30**(5): 571-577.]